

VŠB -Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Stanovení vlivu spalovacího a zplyňovacího
režimu na tvorbu znečišťujících látek
v kamnech na dřevo

Influence of Combustion and Gasifying
Mode for Pollutants Formation in Wood
Stove

Student: Ondřej Prokša

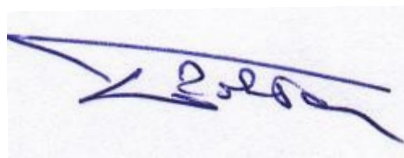
Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Horák, Ph.D.

Ostrava 2011

KOPIE ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.



V Ostravě: 23. 5. 2011

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požádat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.



V Ostravě: 23. 5. 2011

.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Ondřej Prokša

Adresa trvalého pobytu autora práce: Slezská 63, Jilešovice, 747 92

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PROKŠA, O. *Stanovení vlivu spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek v kamnech na dřevo: bakalářská práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 44 s. Vedoucí práce: HORÁK, J.

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou tvorby znečišťujících látek v kamnech na dřevo během spalovacího a zplyňovacího režimu. Představuje základní typy metod, kterými měříme znečišťující látky, a popisuje emisní bilanci z malých spalovacích zdrojů. V praktické části je porovnán vliv spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek v kamnech Xeoos spalující dřevo.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

PROKŠA, O. *Influence of Combustion and Gasifying Mode for Pollutants Formation in Wood Stove: Bachelor Thesis.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Department of Energetics, 2011, 44 p. Thesis head: HORÁK, J.

This bachelor thesis investigate the question of producing pollutants during combustion and gasification modes in wood stoves. I will introduce basic measurement methods which are used for measuring pollutants and also describe emisison balance from small combustion sources. In practical part I will compare combustion with gasification mode and their effects on pollutants production in Xeoos wood stoves.

KLÍČOVÁ SLOVA

- spalování a zplyňování
- měřicí metody
- kamna
- znečišťující látky

KEYWORDS

- combustion and gasifying
- method of measurement
- stove
- Pollutants Formation

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	1
1. ÚVOD.....	2
2. SPALOVÁNÍ A ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY.....	3
2.1 Spalování biomasy.....	3
2.1.1 Popis a princip.....	3
2.1.2 Bilance látek vzniklých během spalování.....	3
2.2 Zplyňování biomasy.....	4
2.2.1 Popis a princip.....	4
2.2.2 Bilance látek vzniklých během zplyňování.....	4
3. PŘEHLED TRHU SE ZAŘIZENÍMI PRO LOKÁLNÍ VYTÁPĚNÍ.....	5
3.1 Přehled trhu s krbovými kamny.....	5
4. ZPŮSOBY MĚŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK.....	10
4.1 Manuální gravimetrická metoda dle ČSN ISO 9096.....	10
4.1.1 Termíny a definice.....	10
4.1.2 Podstata metody.....	12
4.1.3 Stručný obsah.....	12
4.2 Měření v ředícím tunelu.....	13
4.3 Měření plyných složek analyzátory s voltametrickými snímači.....	14
4.4 Fluorescenční metoda.....	14
4.5 Chemiluminiscenční metoda.....	15
4.6 Infračervená spektroskopická metoda.....	16
4.7 Plynová chromatografie (GC).....	17
5. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY BILACOVANÉ Z MALÝCH SPALOVACÍCH ZDROJŮ.....	18
5.1 Tuhé znečišťující látky (TZL).....	18
5.1.1 Popis látky.....	18
5.1.2 Vznik a výskyt.....	18
5.1.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka.....	18
5.2 Oxid uhelnatý (CO).....	18

5.2.1 Popis látky.....	18
5.2.2 Vznik a výskyt	19
5.2.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka	19
5.3 Oxid siřičitý (SO ₂)	19
5.3.1 Popis látky.....	19
5.3.2 Vznik a výskyt	19
5.3.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka	19
5.4 Oxidy dusíku (NO _x)	20
5.4.1 Popis látky.....	20
5.4.2 Vznik a výskyt	20
5.4.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka	20
5.5 Těkavé organické látky (VOC).....	20
5.5.1 Popis látky.....	20
5.5.2 Vznik a výskyt	20
5.5.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka	20
6. METODIKA PRO STANOVENÍ VLIVU SPALOVACÍHO A ZPLYŇOVACÍHO REŽIMU NA TVORBU ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK PRO KAMNA XEOOS.....	21
6.1 Použité přístroje a vybavení.....	21
6.1.1 Krbová kamna Natur 5 kW od firmy Xeoos.....	21
6.1.2 Aparatura SM 96 od firmy Wöhler	21
6.1.3 Analyzátor MultiFID14 od firmy ABB	21
6.1.4 Kontinuální analyzátor plynu EL 3020 a EL 3040 od firmy ABB.....	21
6.1.5 Halogenový analyzátor vlhkosti HR 73 od firmy Mettler Toledo.....	22
6.1.6 Termočlánek typu K	22
6.2 Metodika měření	22
6.3 Zpracování naměřených hodnot.....	23
6.3.1 Naměřené hodnoty	23
6.3.2 Přepočet hodnot koncentrace ve spalínách na referenční přebytek vzduchu.....	26
6.3.3 Přepočítané hodnoty	26

6.3.4 Výpočet účinnosti	28
7. VÝSLEDKY A SROVNÁNÍ SPALOVACÍHO A ZPLYŇOVACÍHO REŽIMU V KAMNECH XEOOS	31
7.1 Stanovení vlivu spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek .	31
8. ZÁVĚR	32
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	34
SEZNAM OBRÁZKŮ	36
SEZNAM TABULEK	37
SEZNAM PŘÍLOH	38

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
FID	plamenový ionizační detektor
GC	plynová chromatografie
MS	hmotnostní spektrometrie
NDIR	nedisperzní infračervený spektrometr
NH ₃	amoniak
NO	oxid dusnatý
NO ₂	oxid dusičitý
N ₂ O	oxid dusný
N ₂ O ₃	oxid dusitý
NO _x	oxidy dusíku
PAH	polyaromatické uhlovodíky
PAU	polyaromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenylly
PCDD	polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	polychlorované dibenzofurany
PM ₁₀	frakce tuhých znečišťujících látek menší než 10 μm
PM _{2,5}	frakce tuhých znečišťujících látek menší než 2,5 μm
POPs	perzistentní organické polutanty
REZZO	registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SO ₂	oxid siřičitý
SVOC	polotěkavé organické látky
TOC	celkový organický uhlík
TEQ	toxický ekvivalent
TSP	celkové suspendované částice
TZL	tuhé znečišťující látky
VOC	těkavé organické látky

1. ÚVOD

V dnešní době, kdy cena za energii neustále roste, kdy se ovzduší zhoršuje vlivem spalování fosilních paliv, se mnoho lidí vrací ke staršímu způsobu vytápění rodinných domů, pomocí krbů nebo kamen. Levnější vytápění dřevem dostává přednost před zemním plynem, jehož cena neustále roste.

Není spalování jako spalování. Pokud se zvolí špatný typ spalovacího zařízení nebo paliva, pak všechny tyto snahy o hospodárnost a ekologii mohou vyznít naprázdno nebo dokonce v neprospěch životního prostředí. Proto je vždy důležité, správně zvolit typ otopného zařízení a druh paliva.

Žijeme v kapitalistickém světě, ve kterém firmy nabízejí široký sortiment zboží a snaží se získat svého zákazníka. Seběmenší vylepšení, zdokonalení má velký význam na konkurenčním poli.

Cílem této práce je srovnání spalovacího a zplyňovacího režimu v kamnech na dřevo od německé firmy Xeoos. Dále srovnání vlivu spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek. Popis emisí, které jsou bilancovány z malých spalovacích zdrojů a metody, pomocí kterých se stanoví množství těchto znečišťujících látek.

2. SPALOVÁNÍ A ZPLYŇOVÁNÍ BIOMASY

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [9], [10], [11]

2.1 Spalování biomasy

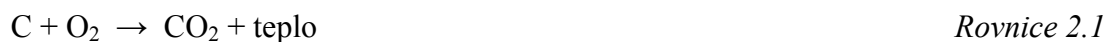
2.1.1 Popis a princip

Z chemického hlediska se jedná o exotermickou reakci, během které dochází k spalování paliva. Spalování hořlavých složek paliva vede k přeměně chemické energie obsažené v palivu na tepelnou energii spalin. Z hlediska fyzikálních dějů dochází k přenosu hybnosti, hmoty a tepla. Oxidace paliva probíhá při teplotě vyšší než je absolutní nula a rychlost hoření se exponenciálně zvyšuje s rostoucí teplotou. Tepelný výkon je množství uvolněného tepla a je ovlivněný rychlostí oxidační reakce. V současnosti se biomasa spaluje hlavně na roštu nebo ve fluidní vrstvě.

2.1.2 Bilance látek vzniklých během spalování

Hořlavé složky paliva reagují s kyslíkem a dle předpokladu dojde k spálení všech hořlavých složek paliva podle stechiometrických rovnic. Výsledkem výpočtů získáme složení a množství spalin a spalovacího vzduchu, připadající na jednotku paliva.

Spalování uhlíku na oxid uhličitý



Spalování vodíku na vodní páru



Spalování síry na oxid siřičitý



2.2 Zplyňování biomasy

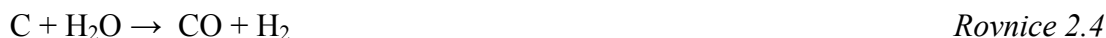
2.2.1 Popis a princip

Z chemického hlediska se jedná o endotermickou reakci, během které se získává plynné palivo. Reakce probíhají v teplotě 750 [°C] až 1000 [°C] při redukovaném množství zplyňovacího média. Během reakce dochází k přeměně uhlíku a vodíku obsažených v pevném palivu do podoby hořlavého plynu. Tento vzniklý plyn má poměrně malou výhřevnost (4 – 7 [MJ/m³_n]). V současnosti se biomasa zplyňuje v generátorech s pevným ložem nebo ve fluidních generátorech.

2.2.2 Bilance látek vzniklých během zplyňování

Hořlavé složky paliva reagují se zplyňovacím médiem (vzduch, kyslík, vodní pára) a dojde kromě dokonalého spalování také k nedokonalému spalování a tvorbě látek dále využitelných. Organická hmota se během této reakce mění na nízkovýhřevný plyn. Hlavními složkami generátorového plynu jsou oxid uhelnatý, oxid uhlíčitý, vodík, dusík a metan.

Reakce vodního plynu



Boudouardova zplyňovací reakce uhlíku na oxid uhelnatý



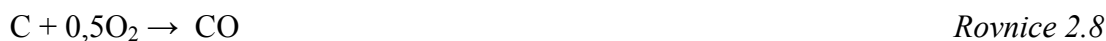
Částečná oxidace



Metanová zplyňovací reakce



Zplyňovací reakce



3. PŘEHLED TRHU SE ZAŘIZENÍMI PRO LOKÁLNÍ VYTÁPĚNÍ

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [4]

Trh s malými spalovacími zdroji pro lokální vytápění lze rozdělit podle typu zařízení, druhu paliva nebo způsobu vytápění.

Podle typu zařízení dělíme trh na krby, krbová kamna, kachlová kamna, kamna, sporáky, kotle pro ústřední vytápění, plynové kotle, teplovodní kotle a přímotopy.

Dalším typem dělení je podle druhu paliva, a to na lokální topeniště na tuhá paliva, plynná nebo elektrická. Nejvyužívanějším tuhým palivem je dřevo a uhlí.

Třetím typem rozdělení otopných zařízení je podle způsobu vytápění. Kotlová zařízení se systémem předávání tepla obsaženého ve spalínách pracovní látky, převážně vodě. A přímotopná spalovací zařízení, ve kterých se uvolněné teplo předává přímo do prostoru, ve kterém se otopné zařízení nachází.

3.1 Přehled trhu s krbovými kamny

V současné době působí na trhu s krbovými kamny celá řada firem. V této bakalářské práci uvádím krbová kamna s certifikovanými parametry od těchto společností: ABX s.r.o., ADURO s.r.o., EDILKAMIN S.p.A., EUROTEPLO s.r.o., HAAS+SOHN Rukov, s.r.o., JØTUL, NORDICA, ROMOTOP spol. s r.o., THORMA Výroba, k.s..

Firma	ABX	[-]
Model	VIKING	[-]
Jmenovitý výkon	6	[kW]
Účinnost	80	[%]
Spotřeba paliva	1,6	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	180	[m ³]
Hmotnost	150	[Kg]
CO	0,175	[%]
Teplota spalin	255	[°C]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	16.100	[Kč]

Tabulka 1 Certifikované parametry krbových kamen Viking [14]



Obrázek 1 Krbová kamna Viking [14]

Firma	Aduro	[-]
Model	ADURO 7	[-]
Jmenovitý výkon	7	[kW]
Účinnost	79	[%]
Spotřeba paliva	2,2	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	140	[m ³]
Hmotnost	130	[Kg]
CO	0,09	[%]
Teplota spalin	290	[°C]
Provozní tah komína	12	[MPa]
Cena	40.900	[Kč]

Tabulka 2 Certifikované parametry krbových kamen Aduro 7 [14]



Obrázek 2 Krbová kamna Aduro 7 [14]

Firma	Edilkamin	[-]
Model	GLORIA	[-]
Jmenovitý výkon	7	[kW]
Účinnost	71,8	[%]
Spotřeba paliva	2,5	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	180	[m ³]
Hmotnost	105	[Kg]
CO	0,1	[%]
Teplota spalin	263	[°C]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	18.700	[Kč]

Tabulka 3 Certifikované parametry krbových kamen Gloria [14]



Obrázek 3 Krbová kamna Gloria [14]

Firma	Haas-Sohn	[-]
Model	STORVIK	[-]
Jmenovitý výkon	7	[kW]
Účinnost	73,5	[%]
Spotřeba paliva	2,5	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	140	[m ³]
Hmotnost	103	[Kg]
CO	0,5	[%]
Teplota spalin	258	[°C]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	11.900	[Kč]

Tabulka 4 Certifikované parametry krbových kamen Storvik [14]



Obrázek 4 Krbová kamna Storvik [14]

Firma	Mijava	[-]
Model	BABY	[-]
Jmenovitý výkon	7	[kW]
Účinnost	78,3	[%]
Spotřeba paliva	2	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	140	[m ³]
Hmotnost	65	[Kg]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	12.900	[Kč]

Tabulka 5 Certifikované parametry krbových kamen Baby [14]



Obrázek 5 Krbová kamna Baby [14]

Firma	Nordica	[-]
Model	NORVEGIA	[-]
Jmenovitý výkon	9	[kW]
Účinnost	84,5	[%]
Spotřeba paliva	2,7	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	200	[m ³]
Hmotnost	181	[Kg]
CO	0,07	[%]
Teplota spalin	170	[°C]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	38.500	[Kč]

Tabulka 6 Certifikované parametry krbových kamen Norvegia [14]



Obrázek 6 Krbová kamna Novergia [14]

Firma	Jøtul	[-]
Model	F 375 CB	[-]
Jmenovitý výkon	7	[kW]
Účinnost	73	[%]
Spotřeba paliva	2	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	192	[m ³]
Hmotnost	165	[Kg]
CO	0,12	[%]
Teplota spalin	330	[°C]
Provozní tah komína	12	[MPa]
Cena	61.500	[Kč]

Tabulka 7 Certifikované parametry krbových kamen F 375 CB [14]



Obrázek 7 Krbová kamna F 375 CB [14]

Firma	Romotop	[-]
Model	TALA 12	[-]
Jmenovitý výkon	8	[kW]
Účinnost	81	[%]
Spotřeba paliva	2,6	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	160	[m ³]
Hmotnost	147	[Kg]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	22.800	[Kč]

Tabulka 8 Certifikované parametry krbových kamen Tala 12 [16]



Obrázek 8 Krbová kamna Tala 12 [16]

Firma	Thorma	[-]
Model	ALVESTA III	[-]
Jmenovitý výkon	8	[kW]
Účinnost	82,3	[%]
Spotřeba paliva	2,2	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	190	[m ³]
Hmotnost	137	[Kg]
Provozní tah komína	10	[MPa]
Cena	21.000	[Kč]

Tabulka 9 Certifikované parametry krbových kamen Alvesta III [15]



Obrázek 9 Krbová kamna Alvesta III [15]

4. ZPŮSOBY MĚŘENÍ ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK

4.1 Manuální gravimetrická metoda dle ČSN ISO 9096

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [1]

Manuální gravimetrická metoda je metodou pro měření hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých látek v proudě plynu v uzavřených profilech jako jsou komíny, potrubí nebo větrací šachty. Hmotnostní koncentrace metody se pohybuje od $0,005 \text{ g.m}^{-3}$ do 10 g.m^{-3} , přičemž chyba této metody je u koncentrace pod $0,05 \text{ g.m}^{-3}$ větší než $\pm 10\%$.

4.1.1 Termíny a definice

vstupní otvor: otvor v potrubí na konci měřicí přímky, kterým se zasouvá vzorkovací sonda (viz obrázek 1 a měřicí přímka)

aktuální podmínky: teplota a tlak v místě (vzorkovacího) měřicího bodu

kumulativní vzorkování: shromažďování jednotlivých složených vzorků získaných vzorkováním za požadovanou dobu v každém vzorkovacím (měřicím) bodě

potrubí, výduch, komín, kouřovod: uzavřená konstrukce, kterou proudí plyn

přetlak/podtlak: rozdíl mezi tlakem v místě vzorkovacího (měřicího) bodu a tlakem okolního prostředí ve stejné nadmořské výšce

plyn: směs plyných sloučenin nebo prvků, které mohou nést tuhé částice při proudění v potrubí

hydraulický poměr: charakteristický rozměr příčného profilu potrubí definovaný vztahem:
$$\frac{4 \times \text{plocha měřicího profilu}}{\text{obvod měřicího profilu}}$$

přírůstkové vzorkování: postupné shromažďování jednotlivých vzorků z každého vzorkovacího (měřicího) bodu

izokinetické vzorkování: způsob vzorkování, při němž se rychlost a směr plynu vstupujícího do hubice vzorkovací sondy (v'_s) shoduje s rychlostí a směrem proudění plynu potrubím v místě vzorkovacího (měřicího) bodu v' (viz obrázek 11)

hmotnostní koncentrace tuhých částic: hmotnost tuhých částic vztažená na jednotku objemu plynu proudícího v potrubí za definované teploty a tlaku plynu

hmotnostní tok tuhých částic: hmotnost tuhých částic obsažených v plynu proudícím v potrubí vztažená na jednotku času

tuhé částice: částice tuhého skupenství jakéhokoliv tvaru, struktury a hustoty rozptýlené v plynné fázi

reprezentativní vzorek plynu: plynný vzorek vykazující průměrnou koncentraci tuhých částic shodnou s příslušnou koncentrací těchto částic v měřicím profilu v průběhu vzorkování

vzorkovací (měřicí) rovina: rovina kolmá k ose potrubí v místě vzorkovacího (měřicího) profilu (viz obrázek 10)

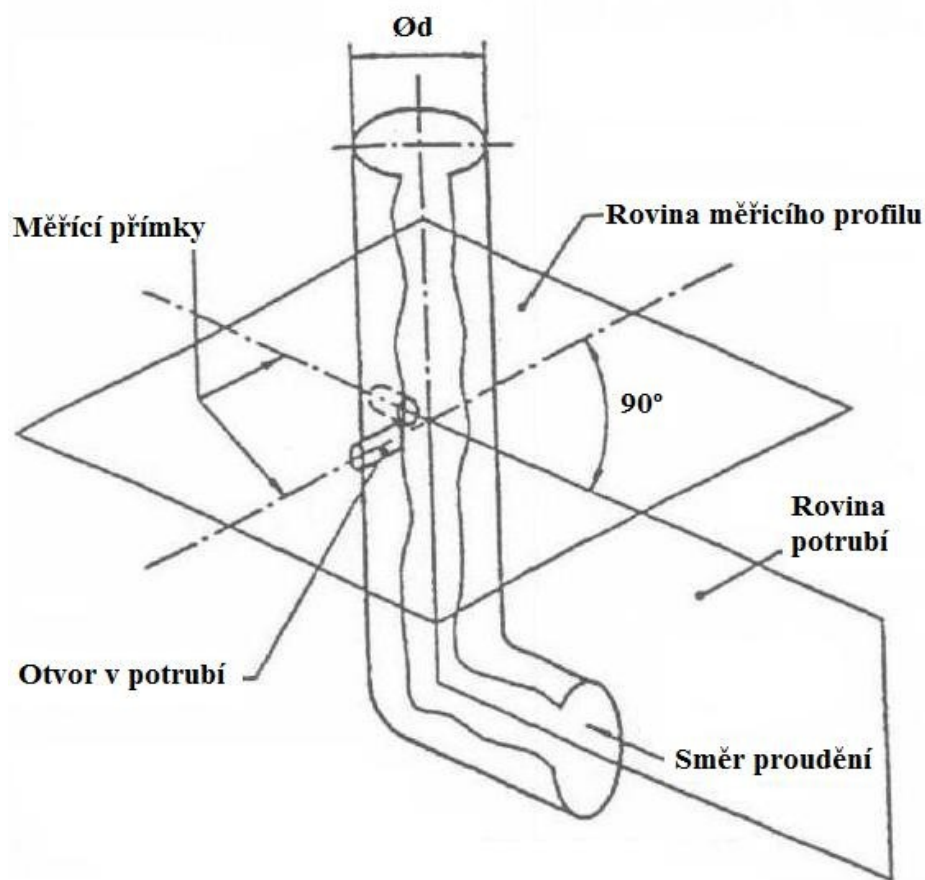
vzorkovací (měřicí) přímka: přímka ve vzorkovací rovině, která vede vzorkovacím (měřicím) bodem (viz obrázek 10) ohraničená vnitřní stěnou potrubí

vzorkovací (měřicí) bod: místo na vzorkovací (měřicí) přímce, ze kterého je odebírán vzorek

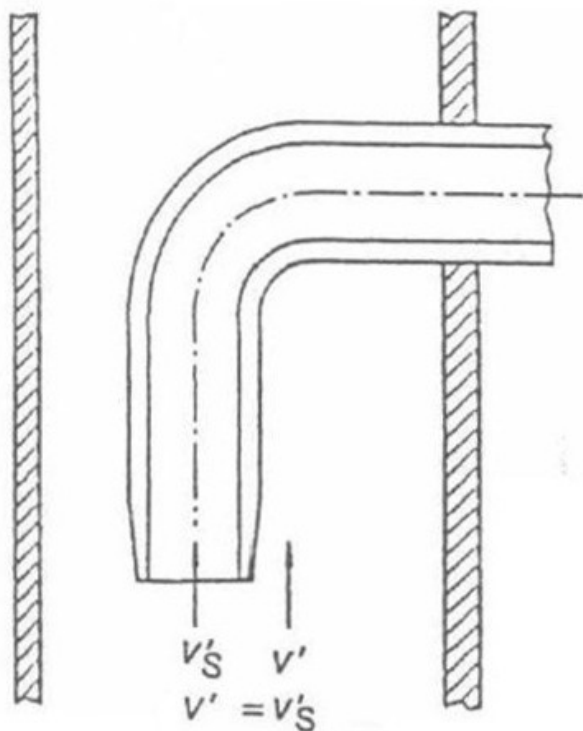
měřicí profil: pozice vhodná pro vzorkování v potrubí

stanoviště: pracoviště nebo provoz, kde je prováděno vzorkování

normální podmínky: normální teplota tlak plynu, tj. 273 K a tlak 101,3 kPa



Obrázek 10 Zobrazení definovaných termínů v kruhovém potrubí [1]



Obrázek 11 Izokinetické vzorkování [1]

4.1.2 Podstata metody

Podstata metody spočívá v zavedení sondy, opatřené hubicí s ostrou hranou, do potrubí otvorem proti směru proudění plynu. Proud vzorku je odebírán izokineticky po dobu měřicího intervalu. Hmotu tuhých částic vstupujících ve vzorkovaném plynu je zachycena pomocí filtru. Následně je vysušena a zvážena. Hmotnostní koncentrace tuhých částic se vypočítá z hmotnosti zachycených částic a příslušného objemu vzorkovacího plynu.

4.1.3 Stručný obsah

Z proudu vzorkovaného plynu je odebrán reprezentativní plynný vzorek. Důležitý při odběru je izokinetický průběh vzorkování, rovnoměrné rozdělení rychlosti plynu a dostatečný počet vzorkovacích bodů ve vzorkovacím profilu. Plyn je vzorkován ve více bodech. Hubice vzorkovací sondy se přesunuje z jednoho vzorkovacího bodu do druhého a v každém se izokinetickým způsobem vzorkuje sledovaný plyn. Vzorek plynu je veden vzorkovací tratí, která se skládá ze vzorkovací sondy s hubicí, odlučovače tuhých částic (vnitřního nebo vnějšího), systému pro měření průtoku plynu (vnitřního nebo vnějšího) a sacího systému (čerpadla). Schéma vzorkovací tratě je uvedeno na obrázku 3 a 4. Důležitým parametrem při izokinetickém vzorkování je rychlost proudícího plynu, kterou měříme pomocí Prandtlovy trubice. Hmotu tuhých znečišťujících látek je vyjmuta, vysušena a zvážena.

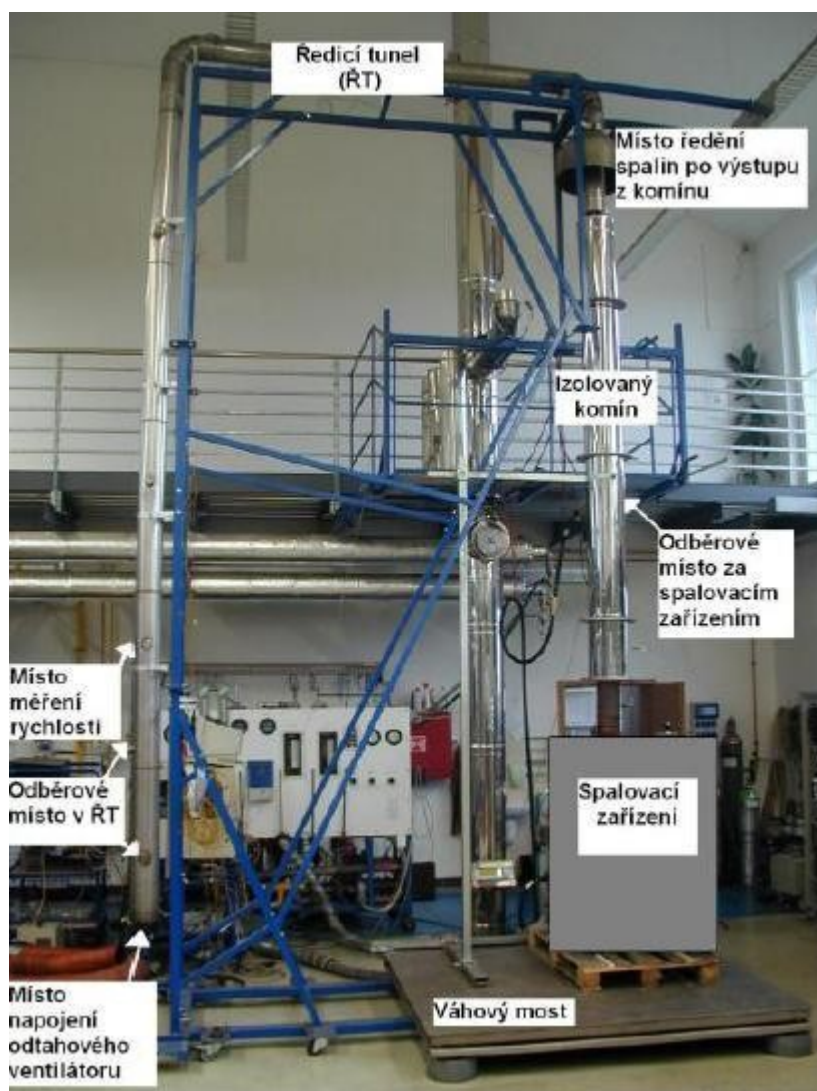
4.2 Měření v ředícím tunelu

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [7], [3]

Pomocí ředícího tunelu můžeme izokineticky odebírat spaliny z kouřovodu. Zařízení spalující tuhá paliva je napojeno na komín, ve kterém proudí spaliny až k ředicímu bodu. V tomto místě dochází k ředění (smíchání) spalin s okolním vzduchem a následně jsou odsávány do ředícího tunelu. Hlavní výhody odběru tuhých znečišťujících látek za ředícím tunelem:

- nižší koncentrace vody za ředícím bodem
- měření emisí se provádí až za koncem komínu, výsledné hodnoty emisí odpovídají emisím vypouštěným do ovzduší
- lze regulovat rychlost proudu spalin, aby proudily izokineticky
- menší koncentrace znečišťujících látek po naředění

Na obrázku 5 je znázorněné schéma ředícího tunelu.



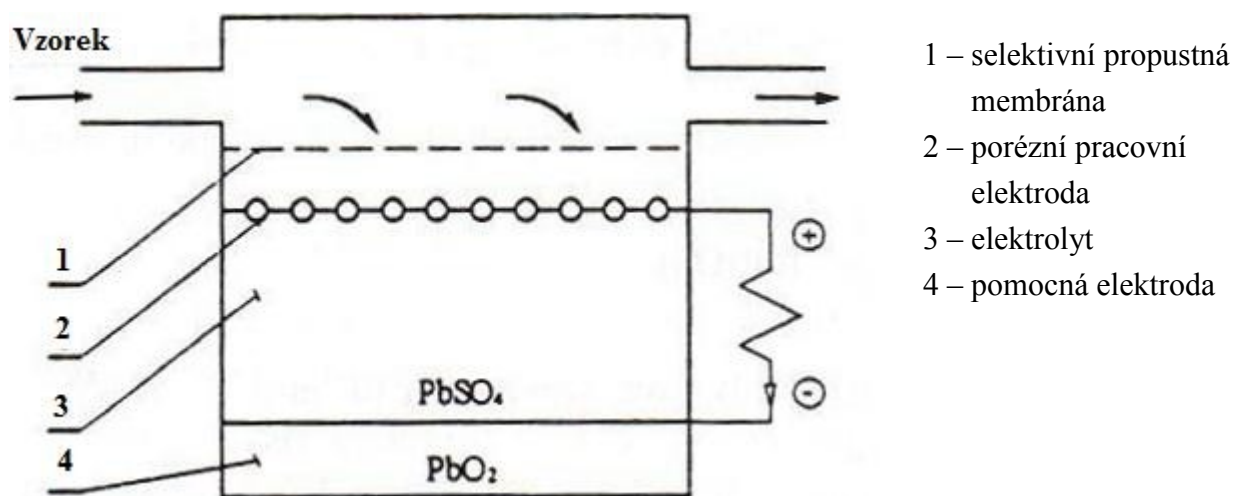
Obrázek 12 Schéma ředícího tunelu [7]

4.3 Měření plyných složek analyzátor s voltametrickými snímači

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5]

Pomocí voltametrických (elektrochemických) snímačů lze měřit koncentrace SO_2 , NO , CO a referenčního kyslíku. Fyzikální princip (Obrázek 6). Fáze procesu:

- difúze měřené složky plynu přes selektivní propustnou membránu
- rozpuštění plynu v tenké vrstvě kapalinového filmu
- difúze molekul přes kapalinový film
- oxidačně-redukční reakce na pracovní elektrodě
- přenos náboje na pomocnou elektrodu a reakce na pomocné elektrodě

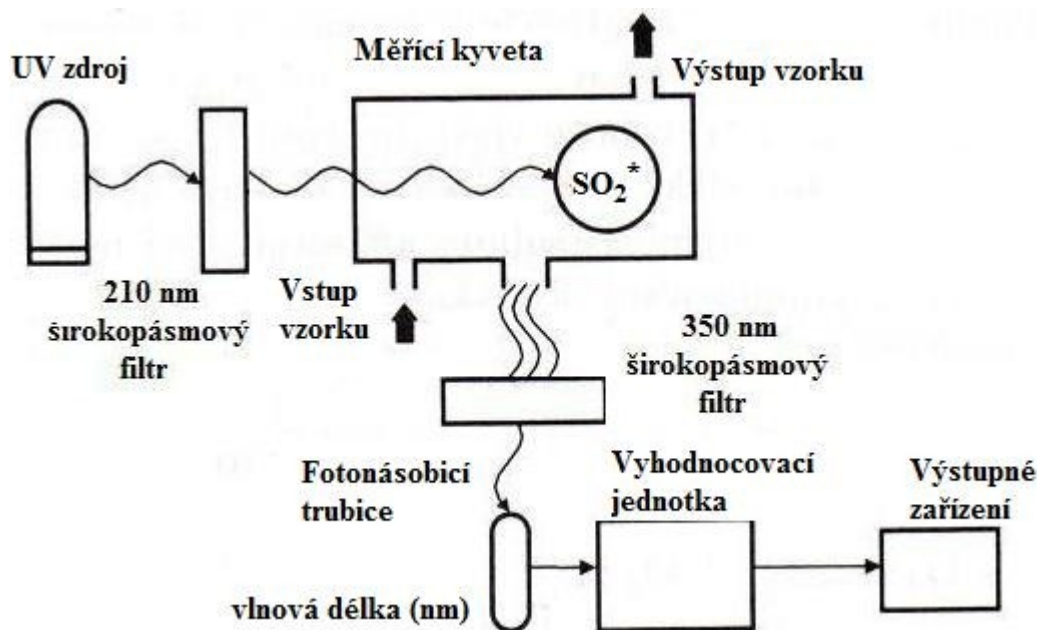


Obrázek 13 Analyzátor s voltametrickými snímači [5]

4.4 Fluorescenční metoda

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5]

Pomocí této metody měříme koncentraci SO_2 v odpadních plynech. Fluorescence je fotoluminiscenční jev, při kterém dochází k absorpci zářivé energie molekulami SO_2 .

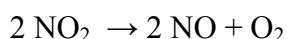


Obrázek 14 Funkční schéma fluorescenčního analyzátoru [5]

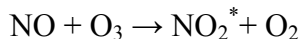
4.5 Chemiluminiscenční metoda

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5]

Pomocí této metody měříme celkové množství NO_x . Nejprve dochází ke katalytické redukci NO_2 . (Rovnice 1.6) Oxid dusnatý je poté oxidován ozónem na oxid dusičitý. Během této reakce přejde část molekul do metastabilního excitovaného stavu NO_2^* , který vyzařuje přebytečnou energii ve formě fotonů. (Rovnice 1.7). Z tohoto stavu přecházejí molekuly zpět do základního stavu. Pomocí chemiluminiscenční metody lze okamžitě stanovit koncentraci NO i NO_x . Funkční schéma chemiluminiscenčního analyzátoru je na obrázku 8.



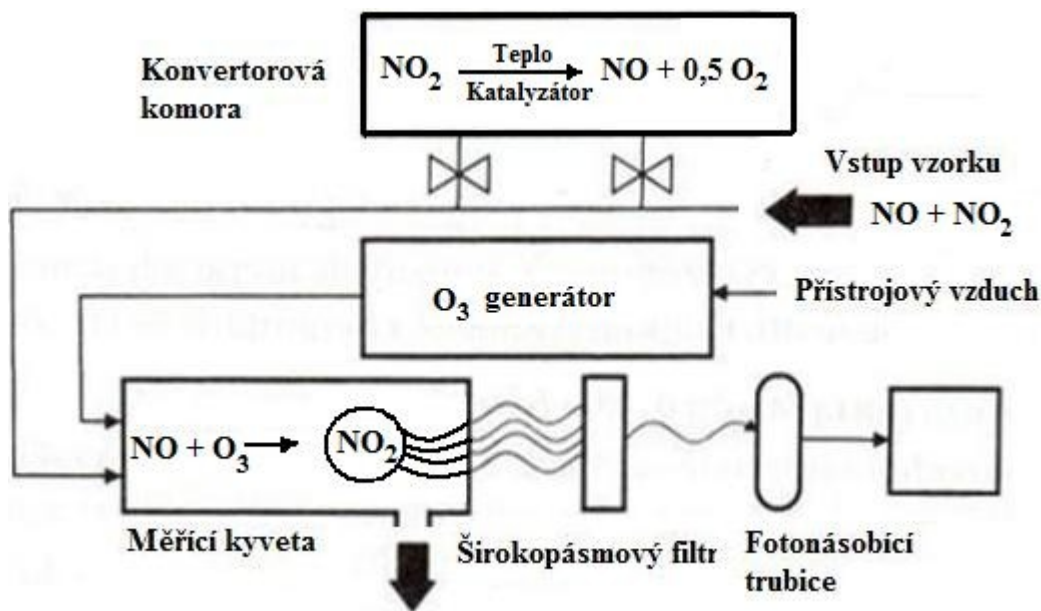
Rovnice 4.1



Rovnice 4.2



Rovnice 4.3

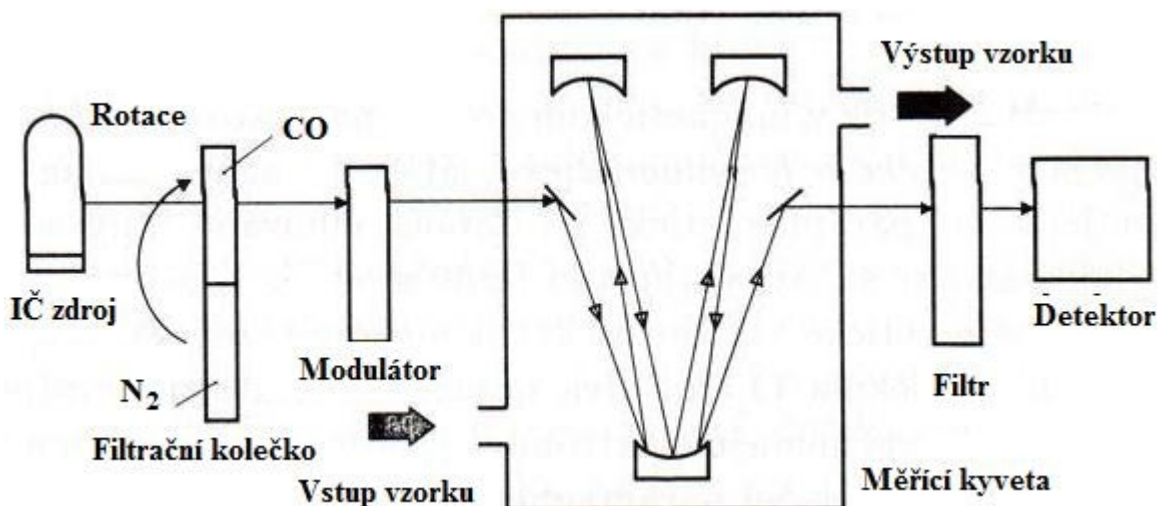


Obrázek 15 Funkční schéma chemiluminiscenčního analyzátoru [5]

4.6 Infračervená spektroskopická metoda

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5]

Pomocí této infračervené absorpční metody můžeme měřit koncentraci SO_2 , NO a CO v odpadních plynech. Metoda GFC (Gas – Filter – Correlation) je vylepšením infračervené absorpční metody. Rozdíl je v tom, že se nahradí optický filtr korelačním kolečkem. Korelační kolečko rotuje mezi zdrojem infračerveného záření a měřicí kyvetou. Korelační kolečko se skládá ze dvou kyvet, první z nich je naplněna dusíkem a druhá směsí měřeného plynu a dusíku. Detektor, který je umístěn za měřicí kyvetou vyhodnocuje měření.

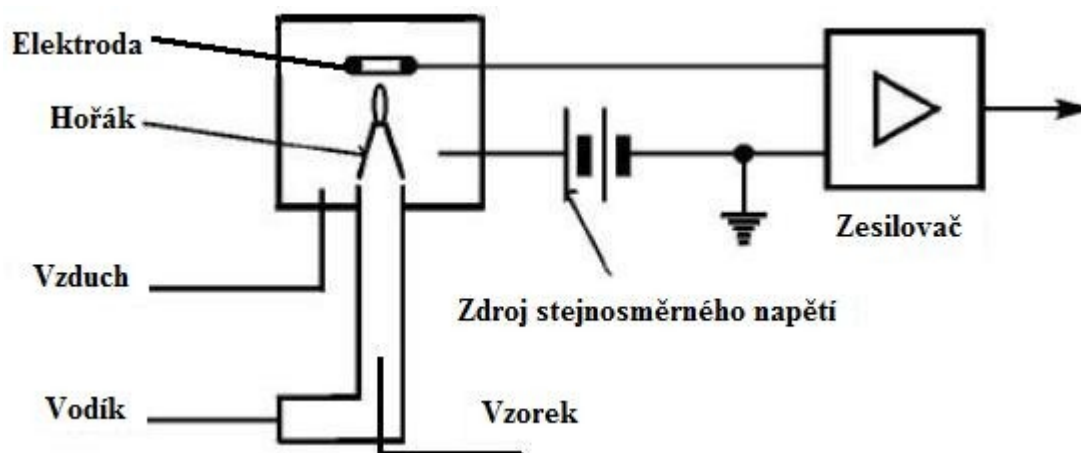


Obrázek 16 Funkční schéma GFC analyzátoru [5]

4.7 Plynová chromatografie (GC)

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [5], [12]

Plynová chromatografie je metoda odebrání a analyzování vzorku, pomocí které můžeme určit množství těkavých organických látek (VOC). Nejčastěji používaným GC detektorem je plamenový ionizační detektor (FID). Metodou FID lze stanovit množství těkavých organických látek. Měřicí rozsah FID detektoru je v rozmezí 0 – 10 000 [ppm]. Metoda FID využívá tepelnou energii plamene k ionizaci uhlovodíků. Do spalovací komory se přivádí analyzovaný vzorek, který se slučuje s vodíkem. Vzniklá směs organických látek a vodíku hoří se sloučením se vzduchem. Dochází k ionizaci organických látek. Z ionizačního proudu se zpracuje výstupní elektrický signál.



Obrázek 17 Zapojení měřícího obvodu s FID [12]

5. ZNEČIŠŤUJÍCÍ LÁTKY BILACOVANÉ Z MALÝCH SPALOVACÍCH ZDROJŮ

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [4], [6], [8]

Malé spalovací zařízení v domácnostech na tuhá paliva produkují ve spalinách velkou část znečišťujících látek a škodlivin. Mezi znečišťující látky, které jsou bilancovány v rámci Registru emisí a zdrojů znečišťování ovzduší (REZZO) patří tuhé znečišťující látky (TZL), jejich frakce PM₁₀ (hrudní frakce), PM_{2,5} (respirabilní frakce) a prach, plynné škodliviny (SO₂, NO_x a CO), organické polutanty (VOC a POPs) a amoniak (NH₃). Do skupiny perzistentních organických látek (POPs) patří polychlorované dibenzodioxiny (PCDD), polychlorované dibenzofurany (PCDF), polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) a polychlorované bifenylly (PCB). Všechny tyto znečišťující látky negativně ovlivňují životní prostředí včetně lidského organismu. Při inhalaci mikročástic existuje zvýšené riziko vzniku astmatu, kardiovaskulárních onemocnění, rakoviny plic a předčasného úmrtí.

5.1 Tuhé znečišťující látky (TZL)

5.1.1 Popis látky

Jedná se o částice různých velikostí, tvaru, původu, složení a struktury, které jsou za teploty a tlaku v komíně, výduchu, výpusti nebo při měření emisí přítomny v odpadním plynu v pevném skupenství a jsou jím unášeny. Prach zahrnuje malé částice tuhých látek. Dělí se na polétavý, jemný a hrubý prach a různé nečistoty. Velikost částice je velmi důležitým parametrem TZL. Rozlišujeme dvě hlavní frakce PM₁₀ a PM_{2,5}. PM₁₀ je částice s aerodynamickým průměrem do 10 μm (hrubá prachová částice). PM_{2,5} je částice s aerodynamickým průměrem do 2,5 μm (jemná prachová částice).

5.1.2 Vznik a výskyt

Tuhé znečišťující látky vznikají přírodní nebo lidskou činností. Mezi přírodní zdroje patří zvířený prach, lesní požáry, vesmírný prach. Lidské činnosti, ze kterých vznikají TZL jsou převážně hutnictví, doprava, zemědělství, spalování paliv a průmyslová činnost.

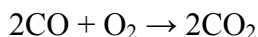
5.1.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka

Největší nebezpečí pro zdraví člověka představují částice o 2,5 - 5 μm. Tyto částice se po vdechnutí mohou usazovat v plicních sklípcích.

5.2 Oxid uhelnatý (CO)

5.2.1 Popis látky

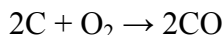
Oxid uhelnatý je bezbarvý plyn, bez chuti a zápachu, nedráždivý, velmi jedovatý a toxický. Je lehčí než vzduch. Ve vodě je málo rozpustný a má silné redukční vlastnosti. V přírodě se vyskytuje v nepatrném množství v atmosféře a v sopečných plynech. Je obsažen v generátorovém, vysokopečném a vodním plynu. S kyslíkem se prudce slučuje, hoří namodralým plamenem při vzniku oxidu uhličitého:



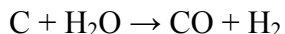
Rovnice 5.1

5.2.2 Vznik a výskyt

Vzniká nedokonalým spalováním uhlíku a organických látek. Při nedokonalém spalování jsou hlavní příčiny – nedokonalé promíchání paliva s kyslíkem, krátký čas ve spalovací komoře nebo nestabilní poměr teplot. Kvalita spalovacího procesu se nejlépe určí z koncentrace oxidu uhelnatého ve spalínách za kotlem. Připravuje se:



Rovnice 5.2



Rovnice 5.3

5.2.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka

Oxid uhelnatý je značně jedovatý. Jedovatost je způsobena silnou afinitou k hemoglobinu a to vede k vytvoření karboxyhemoglobinu (COHb), který zabraňuje dopravě kyslíku z plic do tkání. Oxid uhelnatý se dostává do těla dýchací soustavou. Hypoxie (nedostatek kyslíku) způsobená oxidem uhelnatým vede k nedostatečné funkci mozku, srdce, vnitřní stěny krevních cév a destiček. Otravy bývají většinou smrtelné. V atmosféře je oxid uhelnatý velice stabilní. Plyn nereaguje s vodou a nezpůsobuje snížení pH deště a vznik kyselých dešťů.

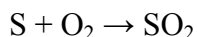
5.3 Oxid siřičitý (SO₂)

5.3.1 Popis látky

Oxid siřičitý vzniká při spalování paliv obsahujících síru. SO₂ a TZL jsou hlavními látkami, které znečišťují ovzduší v městech po celém světě. Oxid siřičitý je bezbarvý, štiplavě páchnoucí, jedovatý plyn, který reaguje na povrchu různých tuhých suspendovaných částic. Plyn má hustotu při normálních podmínkách 2,72 kg.m⁻³. Při rozpouštění ve vodě se uvolňuje teplo a vzniká kyselina siřičitá, proto patří SO₂ ke kyselinotvorným oxidům.

5.3.2 Vznik a výskyt

Oxid siřičitý vzniká ze spalování fosilních paliv. SO₂ se vyskytuje převážně v sopečných plynech nebo je rozpuštěn v podzemních vodách v oblastech vulkanicky aktivních. V posledních letech dochází k poklesu emisí ve velké části evropského regionu. Průměrná koncentrace emisí SO₂ je nyní převážně pod 100 µg.m⁻³ ve většině venkovských světových měst a mezi 5 až 25 µg.m⁻³ ve většině venkovských oblastí v Evropě. Síra se slučuje s kyslíkem:



Rovnice 5.4

5.3.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka

V přírodě SO₂ nejvíce působí na jehličnany, při menších koncentracích zapříčiňuje hynutí lišejníků. Oxid siřičitý, je příčinou mnoha zdravotních poškození, hlavně dýchacích cest, astmatu a bronchitidy.

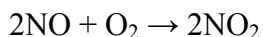
5.4 Oxidy dusíku (NO_x)

5.4.1 Popis látky

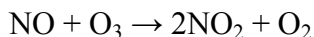
Oxidy dusíku tvoří směs plynů oxidu dusnatého (NO), oxidu dusičitého (NO₂), oxidu dusného (N₂O) a oxidu dusitého (N₂O₃). Pro zdraví člověka je nejnebezpečnější oxid dusičitý. Oxid dusičitý je jedovatý plyn, který je v plynném stavu červenohnědý, v kapalném stavu má žlutohnědou barvu a v pevném stavu tvoří bezbarvé krystaly. Oxid dusičitý má silné oxidační účinky, štiplavý dusivý zápach a je rozpustný ve vodě.

5.4.2 Vznik a výskyt

V přírodě oxidy dusíku vznikají sopečnou a bakteriální činností. Působením lidské činnosti vznikají převážně ze spalovacích zařízení s vysokými teplotami. Oxid dusičitý vzniká transformací z oxidu dusnatého a to sloučením s atmosférickým kyslíkem (Rovnice 5) nebo s ozonem (Rovnice 6). Oxidy dusíku se dělí na termické, palivové a rychlé NO_x.



Rovnice 5.5



Rovnice 5.6

5.4.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka

Oxidy dusíku ovlivňují ekosystém dané lokality a ve městech v letních měsících vytváří tzv. letní smog. Oxidy dusíku se dostávají do těla při vdechování a způsobují onemocnění dýchacích cest, vznik nádorových onemocnění a při okysličování krve se váže na hemoglobin a tím zhoršuje přenos kyslíku z plic do krevního oběhu.

5.5 Těkavé organické látky (VOC)

5.5.1 Popis látky

Těkavé organické látky řadíme mezi polutanty ovzduší. V atmosféře se VOC vyskytují v plynném stavu. Skupina znečišťujících látek VOC zahrnuje uhlovodíky (alkany, alkeny, alkiny), deriváty uhlovodíku (alkoholy, ethery, ketony, kyseliny, aminy). Většina je bezbarvá, některé mají charakteristický zápach (aromáty), jiné jsou bez zápachu. Využití nacházejí v průmyslu jako čisticí, odmašťovací a rozpouštědla.

5.5.2 Vznik a výskyt

VOC vznikají z biogenních (rostliny, živočichové, lesní požáry, anaerobní procesy) a antropogenních (rozpouštědla, výfukové plyny z dopravních prostředků, spalování paliv, skládka odpadů) zdrojů. VOC se převážně vyskytuje v nižších vrstvách atmosféry měst a průmyslových oblastí.

5.5.3 Vliv na životní prostředí a zdraví člověka

Největší nebezpečí těchto látek představuje jejich reaktivita. Při reakci s NO vzniká ozón. Pokud dlouhodoběji vdechujeme některé látky (VOC), může dojít k bolesti hlavy, poškození jater, ledvin. Některé z nich jsou karcinogenní (benzen).

6. METODIKA PRO STANOVENÍ VLIVU SPALOVACÍHO A ZPLYŇOVACÍHO REŽIMU NA TVORBU ZNEČIŠŤUJÍCÍCH LÁTEK PRO KAMNA XEOOS

Tato kapitola byla zpracována dle literatury [7], [10], [13]

6.1 Použité přístroje a vybavení

6.1.1 Krbová kamna Natur 5 kW od firmy Xeoos

Experimentální měření na krbových kamnech Xeoos 5 kW. Parametry stanovené výrobcem jsou uvedeny v tabulce 10.

Firma	Xeoos	[-]
Model	NATUR	[-]
Jmenovitý výkon	5	[kW]
Účinnost	>83,7	[%]
Spotřeba paliva	2	[kg/h]
Vytápěcí schopnost	70	[m ³]
Hmotnost	150	[Kg]
CO	0,625	[g/m ³]
Teplota spalin	210	[°C]
Provozní tah komína	12	[MPa]
Cena	77.200	[Kč]

Tabulka 10 Certifikované parametry krbových kamen Xeoos 5 kW [17]



Obrázek 18 Krbová kamna Xeoos 5 kW [17]

6.1.2 Aparatura SM 96 od firmy Wöhler

Pomocí přístroje WÖHLER SM 96 stanovíme hmotnostní koncentraci TZL dle požadavků norem DINplus.

6.1.3 Analyzátor MultiFID14 od firmy ABB

Přístroj MultiFID14 je plamene ionizační detektor, pomocí kterého měříme celkový organický uhlík (TOC) ve vzorku plynu.

6.1.4 Kontinuální analyzátor plynu EL 3020 a EL 3040 od firmy ABB

Infračerveným fotometrem Uras26 měříme koncentraci CO, CO₂, SO₂, NO. Magnetický analyzátor Magnos206 stanoví množství kyslíku.

6.1.5 Halogenový analyzátor vlhkosti HR 73 od firmy Mettler Toledo

Halogenový vlhkoměr měří množství vody ve vzorku dřeva.

6.1.6 Termočlánek typu K

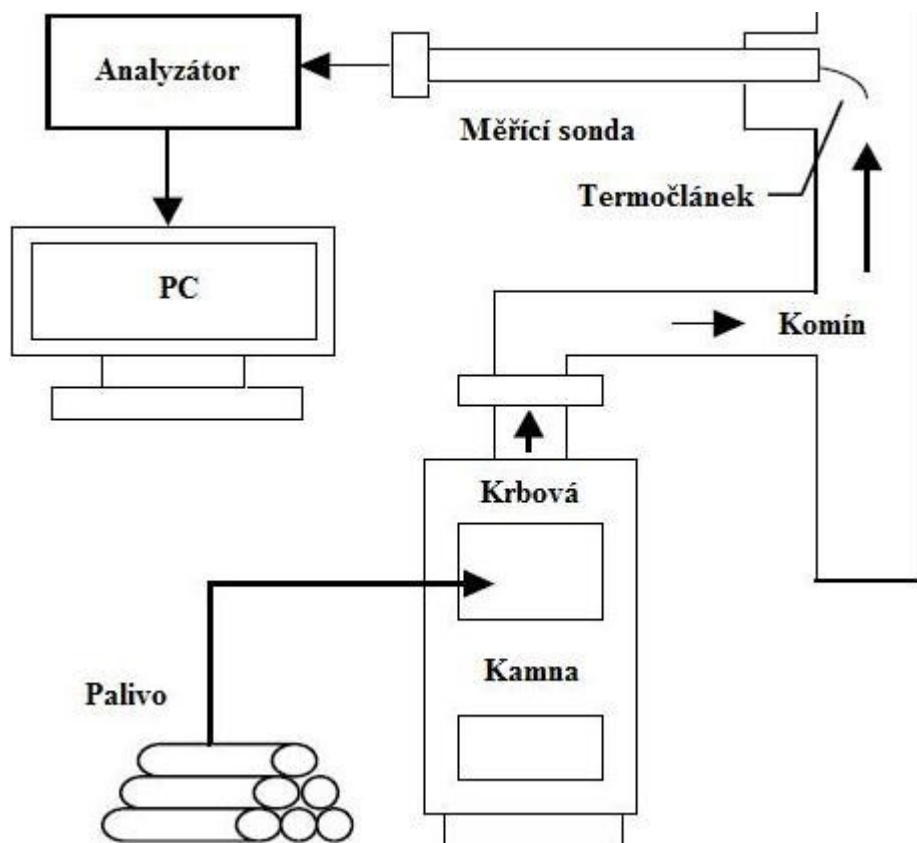
Teplotu v komíně měříme kontinuálně termočlánkem typu K a výsledná data zaznamenáváme dataloggerem.

Analyt	Měřicí princip	Jmenovité měřicí rozsahy
CO	NDIR	(0-50 000) ppm
CO ₂	NDIR	(0-20) %
SO ₂	NDIR	(0-2000) ppm
O ₂	paramagnetický	(0-25) %
NO	NDIR	(0-2000) ppm
TOC	FID	(0-4000) ppm
Relativní nejistota měření - pro všechny analyty a rozsahy ± 2% z naměřené hodnoty		

Tabulka 11 Charakteristika analyzátorů EL 3020, EL 3040 a SM 96 [18]

6.2 Metodika měření

Zplyňovací krbová kamna Natur Xeoos 5 kW byla umístěna před měřením na vázící most. Byla napojena na izolovaný komín s odběrovým místem pro sondu SM 96 pro stanovení TZL ve spalínách. Teplota spalin v komíně byla měřena kontinuálně pomocí termočlánku typu K. Dále byly připojeny analyzátory EL 3020, EL 3040 a plamene ionizační detektor FID14. Množství vody obsažené v dřevu, které bylo spalováno, se změřilo pomocí halogenového analyzátoru vlhkosti HR 73. Po přiložení dřeva do kamen byla všechna data zaznamenávána do PC a následně vyhodnocena pomocí základních spalovacích rovnic.



Obrázek 19 Schéma měření [13]

6.3 Zpracování naměřených hodnot

6.3.1 Naměřené hodnoty

Měření č.1 (spalovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	8:57	206	14,7	1056	53	6	6
2	9:05	300	10,1	3935	65	319	11
3	9:13	323	12,9	715	60	26	8
4	9:21	323	14,1	424	51	9	7
5	9:30	315	15,2	460	45	11	5
6	9:38	302	16,6	966	35	10	4
Střední hodnota		303	13,5	1452	54	104	7

Tabulka 12 Hodnoty z měření č.1 (spalovací režim)

Měření č.2 (spalovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	9:39	299	16,7	1103	31	7	4
2	9:47	352	8,9	3133	71	160	12
3	9:56	355	12,9	332	57	12	8
4	10:04	338	14,7	467	46	16	6
5	10:13	321	15,3	645	44	15	5
6	10:21	305	15,9	858	37	17	5
Střední hodnota		333	13,3	1362	53	82	7

Tabulka 13 Hodnoty z měření č.2 (spalovací režim)

Měření č.3 (spalovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	10:23	299	16,5	1672	30	15	4
2	10:31	352	8,8	2349	79	99	12
3	10:40	356	13,1	364	62	10	8
4	10:49	333	15,1	615	46	13	6
5	10:58	315	15,1	732	46	16	5
6	11:07	299	16,4	2011	35	10	4
Střední hodnota		330	13,5	1354	54	52	7

Tabulka 14 Hodnoty z měření č.3 (spalovací režim)

Měření č.4 (zplyňovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	11:08	295	16,7	2765	29	9	4
2	11:17	231	10,1	1897	60	59	11
3	11:26	222	12	699	61	33	9
4	11:35	216	13,6	1528	44	37	7
5	11:45	212	12,5	1028	59	5	8
6	11:54	211	13,7	1414	50	4	6
Střední hodnota		225	12,4	1702	54	50	8

Tabulka 15 Hodnoty z měření č.4 (zplyňovací režim)

Měření č.5 (zplyňovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	11:55	211	14,4	1335	39	4	6
2	12:05	215	11,3	539	76	43	10
3	12:15	219	12,7	1014	58	20	8
4	12:25	220	12,7	1043	55	12	8
5	12:36	218	13,9	1007	50	10	7
6	12:46	214	14,9	2150	42	3	5
Střední hodnota		217	12,7	862	59	18	8

Tabulka 16 Hodnoty z měření č.5 (zplyňovací režim)

Měření č.6 (zplyňovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	12:47	213	15,4	2617	37	3	5
2	12:55	223	9,4	174	95	6	11
3	13:04	228	12,1	414	70	3	9
4	13:13	227	13,3	708	57	9	7
5	13:21	225	12,9	611	58	2	8
6	13:30	223	13,6	1118	51	2	7
Střední hodnota		224	12,1	1220	65	39	8

Tabulka 17 Hodnoty z měření č.6 (zplyňovací režim)

Měření č.7 (zplyňovací režim)							
číslo měření	čas	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [ppm]	NO _x [ppm]	TOC [ppm]	CO ₂ [%]
1	13:31	223	14,2	1661	46	3	6
2	13:41	231	9,9	98	97	2	11
3	13:52	235	12,6	654	64	8	8
4	14:03	230	14	1060	50	23	7
5	14:14	225	13,9	765	54	3	7
6	14:24	219	16,2	2779	29	5	4
Střední hodnota		228	12,8	954	62	11	8

Tabulka 18 Hodnoty z měření č.7 (zplyňovací režim)

6.3.2 Přepočet hodnot koncentrace ve spalínách na referenční přebytek vzduchu

Abychom mohli porovnat koncentraci škodlivin emitovaných spalovacím zařízením při různém přebytku spalovacího vzduchu, použijeme přepočet na referenční přebytek vzduchu. Pro spalování v krbových kamnech je referenční hodnota považována 13%.

$$1. \text{ měření (spalovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 13,5} = C_{měř} \cdot 1,06$$

$$2. \text{ měření (spalovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 13,3} = C_{měř} \cdot 1,04$$

$$3. \text{ měření (spalovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 13,5} = C_{měř} \cdot 1,07$$

$$4. \text{ měření (zplyňovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 12,4} = C_{měř} \cdot 0,93$$

$$5. \text{ měření (zplyňovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 12,7} = C_{měř} \cdot 0,97$$

$$6. \text{ měření (zplyňovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 12,1} = C_{měř} \cdot 0,9$$

$$7. \text{ měření (zplyňovací režim) } C_{ref} = \frac{20,9 - 13}{20,9 - 12,8} = C_{měř} \cdot 0,98$$

6.3.3 Přepočítané hodnoty

Výsledné data z měření byla zpracována. Prvním krokem bylo určení středních hodnot jednotlivých znečišťujících látek. Dalším krokem byl přepočet z jednotek [ppm] na [mg/m³]. V posledním kroku byly hodnoty přepočítány na referenční O₂.

1. měření (spalovací režim)

$$CO = 1452[\text{ppm}] \Rightarrow 1452 \cdot 1,25 = 1815[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1815 \cdot 1,06 = 1927[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$CO_2 = 7[\text{ppm}] \Rightarrow 7 \cdot 19,64 = 140[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 140 \cdot 1,06 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$NO_x = 54[\text{ppm}] \Rightarrow 54 \cdot 2,05 = 111[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 111 \cdot 1,06 = 118[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$TOC = 104[\text{ppm}] \Rightarrow 104 \cdot 1,61 = 168[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 168 \cdot 1,06 = 178[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$TZL = 140[\text{mg} / \text{m}^3]$$

2. měření (spalovací režim)

$$\begin{aligned}CO &= 1362[\text{ppm}] \Rightarrow 1362 \cdot 1,25 = 1702[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1702 \cdot 1,04 = 1763[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\CO_2 &= 7[\text{ppm}] \Rightarrow 7 \cdot 19,64 = 144[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 144 \cdot 1,04 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2] \\NO_x &= 53[\text{ppm}] \Rightarrow 53 \cdot 2,05 = 109[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 109 \cdot 1,04 = 113[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TOC &= 104[\text{ppm}] \Rightarrow 82 \cdot 1,61 = 132[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 132 \cdot 1,04 = 121[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TZL &= 121[\text{mg} / \text{m}^3]\end{aligned}$$

3. měření (spalovací režim)

$$\begin{aligned}CO &= 1354[\text{ppm}] \Rightarrow 1354 \cdot 1,25 = 1692[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1692 \cdot 1,07 = 1814[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\CO_2 &= 7[\text{ppm}] \Rightarrow 7 \cdot 19,64 = 139[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 139 \cdot 1,07 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2] \\NO_x &= 54[\text{ppm}] \Rightarrow 54 \cdot 2,05 = 112[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 112 \cdot 1,07 = 120[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TOC &= 52[\text{ppm}] \Rightarrow 52 \cdot 1,61 = 83[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 83 \cdot 1,07 = 89[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TZL &= 91[\text{mg} / \text{m}^3]\end{aligned}$$

4. měření (zplynovací režim)

$$\begin{aligned}CO &= 1702[\text{ppm}] \Rightarrow 1702 \cdot 1,25 = 2127[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 2127 \cdot 0,93 = 1927[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\CO_2 &= 8[\text{ppm}] \Rightarrow 8 \cdot 19,64 = 160[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 160 \cdot 0,93 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2] \\NO_x &= 54[\text{ppm}] \Rightarrow 54 \cdot 2,05 = 110[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 110 \cdot 0,93 = 103[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TOC &= 50[\text{ppm}] \Rightarrow 50 \cdot 1,61 = 80[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 80 \cdot 0,93 = 75[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TZL &= 17[\text{mg} / \text{m}^3]\end{aligned}$$

5. měření (zplynovací režim)

$$\begin{aligned}CO &= 862[\text{ppm}] \Rightarrow 862 \cdot 1,25 = 1077[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1077 \cdot 0,97 = 1042[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\CO_2 &= 8[\text{ppm}] \Rightarrow 8 \cdot 19,64 = 155[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 155 \cdot 0,97 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2] \\NO_x &= 59[\text{ppm}] \Rightarrow 59 \cdot 2,05 = 120[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 120 \cdot 0,97 = 116[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TOC &= 18[\text{ppm}] \Rightarrow 18 \cdot 1,61 = 28[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 28 \cdot 0,97 = 28[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TZL &= 18[\text{mg} / \text{m}^3]\end{aligned}$$

6. měření (zplynovací režim)

$$\begin{aligned}CO &= 1220[\text{ppm}] \Rightarrow 1220 \cdot 1,25 = 1524[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1524 \cdot 0,9 = 1370[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\CO_2 &= 8[\text{ppm}] \Rightarrow 8 \cdot 19,64 = 166[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 166 \cdot 0,9 = 150[\text{g} / \text{m}^3 / O_2] \\NO_x &= 65[\text{ppm}] \Rightarrow 65 \cdot 2,05 = 134[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 134 \cdot 0,9 = 120[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TOC &= 39[\text{ppm}] \Rightarrow 39 \cdot 1,61 = 62[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 62 \cdot 0,9 = 56[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2] \\TZL &= 18[\text{mg} / \text{m}^3]\end{aligned}$$

7. měření (zpilyňovací režim)

$$CO = 954[\text{ppm}] \Rightarrow 954 \cdot 1,25 = 1192[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 1192 \cdot 0,98 = 1166[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$CO_2 = 8[\text{ppm}] \Rightarrow 8 \cdot 19,64 = 152[\text{g} / \text{m}^3] \Rightarrow 152 \cdot 0,98 = 149[\text{g} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$NO_x = 62[\text{ppm}] \Rightarrow 62 \cdot 2,05 = 127[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 127 \cdot 0,98 = 125[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$TOC = 11[\text{ppm}] \Rightarrow 11 \cdot 1,61 = 17[\text{mg} / \text{m}^3] \Rightarrow 17 \cdot 0,98 = 17[\text{mg} / \text{m}^3 / O_2]$$

$$TZL = 16[\text{mg} / \text{m}^3]$$

Tabulka vyhodnocení								
číslo měření	režim	teplota [°C]	O ₂ [%]	CO [mg/m ³ _N]	NO _x [mg/m ³ _N]	TOC [mg/m ³ _N]	CO ₂ [g/m ³ _N]	TZL [mg/m ³ _N]
1	spalovací	303	13,5	1927	118	178	149	140
2	spalovací	333	13,3	1763	113	137	149	121
3	spalovací	330	13,5	1814	120	89	149	91
4	zpilyňovací	225	12,4	1983	103	75	149	17
5	zpilyňovací	217	12,7	1042	116	28	149	18
6	zpilyňovací	224	12,1	1370	120	56	150	18
7	zpilyňovací	228	12,8	1166	125	17	149	16

Tabulka 19 Vyhodnocení znečišťujících látek

6.3.4 Výpočet účinnosti

Účinnost byla počítána podle zjednodušeného výpočtu:

$$\eta = 100 - (\xi_K + \xi_{NT} + \xi_{NP})$$

1, Poměrná ztráta citelným teplem spalín (komínová ztráta)

$$\xi_K = \frac{V_{sp,sk}^v \cdot c_{sp} \cdot (t_{sp} - t_{vz})}{Q_i^r} [\%]$$

2, Poměrná ztráta plynným nedopalem

$$\xi_{NP} = \frac{V_{sp,sk}^v \cdot c_{CO} \cdot Q_{CO}}{Q_i^r} [\%]$$

3, Poměrná ztráta mechanickým (tuhým) nedopalem

$$\xi_{NT} = 0,5 [\%]$$

1. měření (spalovací režim)

$$\xi_K = \frac{10,91 \cdot 1,5 \cdot (303 - 22,9)}{16500} = 27,8[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{10,91 \cdot 1708 \cdot 0,937 \cdot 12644}{16500} = 1,3[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (27,8 + 1,3 + 0,5) = 70,4[\%]$$

2. měření (spalovací režim)

$$\xi_K = \frac{10,68 \cdot 1,5 \cdot (333 - 24,5)}{16500} = 30[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{10,68 \cdot 1526 \cdot 0,962 \cdot 12644}{16500} = 1,2[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (30 + 1,2 + 0,5) = 68,3[\%]$$

3. měření (spalovací režim)

$$\xi_K = \frac{11,02 \cdot 1,5 \cdot (330 - 24,8)}{16500} = 30,6[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{11,02 \cdot 1752 \cdot 0,937 \cdot 12644}{16500} = 1,4[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (30,6 + 1,4 + 0,5) = 67,5[\%]$$

4. měření (zplyňovací režim)

$$\xi_K = \frac{9,69 \cdot 1,5 \cdot (225 - 24,7)}{16500} = 17,6[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{9,69 \cdot 2057 \cdot 1,076 \cdot 12644}{16500} = 1,6[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (17,6 + 1,6 + 0,5) = 80,3[\%]$$

5. měření (zplyňovací režim)

$$\xi_K = \frac{10,02 \cdot 1,5 \cdot (217 - 24,8)}{16500} = 17,5[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{10,02 \cdot 1118 \cdot 1,038 \cdot 12644}{16500} = 0,9[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (17,5 + 0,9 + 0,5) = 81,1[\%]$$

6. měření (zplyňovací režim)

$$\xi_K = \frac{9,35 \cdot 1,5 \cdot (224 - 24,8)}{16500} = 16,9[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{9,35 \cdot 1344 \cdot 1,114 \cdot 12644}{16500} = 1,1[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (16,9 + 1,1 + 0,5) = 81,5[\%]$$

7. měření (zplyňovací režim)

$$\xi_K = \frac{10,13 \cdot 1,5 \cdot (228 - 25)}{16500} = 18,7[\%]$$

$$\xi_{NP} = \frac{10,13 \cdot 1404 \cdot 1,025 \cdot 12644}{16500} = 1,1[\%]$$

$$\xi_{NT} = 0,5[\%]$$

$$\eta = 100 - (18,7 + 1,1 + 0,5) = 79,7[\%]$$

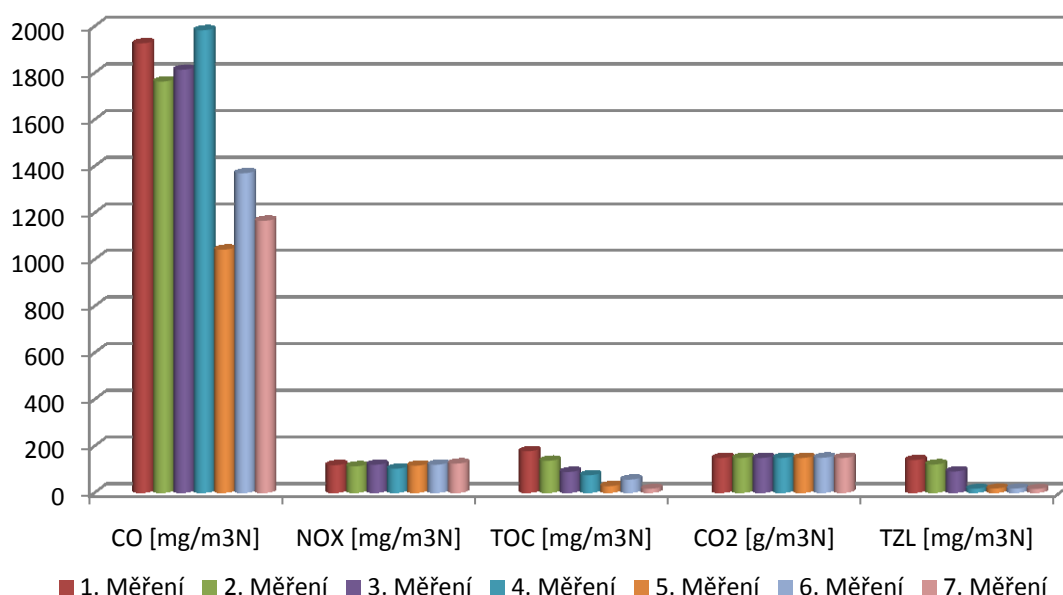
Tabulka účinnosti a ztrát							
číslo měření	režim	teplota spalin [°C]	teplota vzduchu [°C]	ξ_K [%]	ξ_{NP} [%]	ξ_{NT} [%]	η [%]
1	spalovací	303	22,9	27,8	1,3	0,5	70,4
2	spalovací	333	24,5	30	1,2	0,5	68,3
3	spalovací	330	24,8	30,6	1,4	0,5	67,5
4	zplyňovací	225	24,7	17,6	1,6	0,5	80,3
5	zplyňovací	217	24,8	17,5	0,9	0,5	81,1
6	zplyňovací	224	24,8	16,9	1,1	0,5	81,5
7	zplyňovací	228	25	18,7	1,1	0,5	79,7

Tabulka 20 Vyhodnocení účinnosti (nepřímou metodou)

7. VÝSLEDKY A SROVNÁNÍ SPALOVACÍHO A ZPLYŇOVACÍHO REŽIMU V KAMNECH XEOOS

7.1 Stanovení vlivu spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek

Experimentální měření proběhlo 9.11.2010 ve Výzkumném energetickém centru VŠB-TU Ostravě. Spalovací režim kamen Xeoos byl měřen třikrát, zplyňovací režim čtyřikrát. Do krbových kamen, které byly napojeny na všechny použité měřicí přístroje, bylo přiváděno palivo (dřevo). Naměřené hodnoty byly průběžně zobrazovány na displeji analyzátoru a následně ukládány do PC. Výsledné data jsem přepočítal na požadované jednotky. Výsledkem byly rozdílné hodnoty oxidu uhelnatého, organických látek a tuhých znečišťujících látek. Všechny tyto tři látky během zplyňovacího režimu se vyskytovaly v nižších koncentracích ve srovnání se spalovacím režimem. Účinnost kamen je vyšší během zplyňovacího režimu.



Obrázek 20 Množství znečišťujících látek z měření

8. ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo všeobecné seznámení se způsoby měření znečišťujících látek. Popisuje emisní bilanci vytápění bytů malými zdroji. Porovnává vliv spalovacího a zplyňovacího režimu na tvorbu znečišťujících látek v kamnech Xeoos.

První část práce popisuje základy spalování a zplyňování biomasy. Seznamuje nás s trhem se zařízeními pro lokální vytápění, především se jedná o krby a krbová kamna. Jsou zde uvedeny základní parametry prezentovaných krbových kamen.

Další část obsahuje postupný rozbor způsobů měření znečišťujících látek, emisní bilanci z malých spalovacích zdrojů spalujících biomasu. Dále vliv těchto znečišťujících látek na ekosystém a zdraví člověka.

Poslední praktická část popisuje metodiku měření pro kamna Xeoos 5 [kW]. V experimentální části je popsáno použité vybavení včetně měřicích přístrojů. Dále popsána metodika měření. Jsou zde uvedena a přepočítána data z měření.

Zplyňovací režim je pro provozovatele krbových kamen Xeoos z ekologického i z ekonomického hlediska výhodnější. Během zplyňovacího režimu produkují kamna méně oxidu uhelnatého, organických látek a tuhých znečišťujících látek. Účinnost kamen je vyšší a spotřeba paliva nižší.

V závěru bych se ještě rád zmínil o ceně a možnosti proniknutí krbových kamen Xeoos na český trh. Nejlevnější variantu lze pořídit za 2.890 €, proto jsem toho názoru, že kamna od firmy Xeoos nebudou mít na českém trhu velký odbyt.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Horákovi PhD. za cenné připomínky a odbornou pomoc při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Všem, kteří svou radou pomohli. Dovolte, abych v neposlední řadě poděkoval mým rodičům za to, že mi umožnili studium na této škole.



V Ostravě: 23. 5. 2011

.....

(Podpis autora)

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Literatura:

- [1] ČSN ISO 9096 Stacionární zdroje emisí – Stanovení hmotnostní koncentrace a hmotnostního toku tuhých částic v potrubí – Manuální gravimetrická metoda, Český normalizační institut, 1998
- [2] ČSN EN 13284-1 Stacionární zdroje emisí – Stanovení nízkých hmotnostních koncentrací prachu – Manuální gravimetrická metoda, Český normalizační institut, 2002
- [3] ABRLA, Pavel 2006. *Energie z biomasy V – odborný seminář* [online]. Brno: Energetický ústav – Odbor energetického inženýrství [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_v/papers/03-Abrla.pdf
- [4] KOLONIČNÝ, Jan, HORÁK, Jiří, BOGOCZOVÁ, Veronika. *Postupy správného topení*. Ostrava, 2010. 131 s. VŠB - Technická univerzita Ostrava. Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/Topeni.pdf>>. ISBN 978-80-248-2255-6.
- [5] RAJNIÁK, Ivan, a kol. *Tepelno-energetické a emisné merania*. Bratislava : Ister Science, 1997. 481 s. ISBN 80-88683-20-3.
- [6] OCHODEK, Tadeáš, KOLONIČNÝ, Jan, BRANC, Michal. *Ekologické aspekty záměny fosilních paliv za biomasu*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2007. 144 s. Oborová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava . Dostupné z WWW: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/ekol.pdf>>. ISBN 978-80-248-1595-4.
- [7] HORÁK, Jiří, BRANC, Michal, HNILICOVÁ, Helena: *Emise jemných částic prachu při spalování tuhých paliv v malých spalovacích zařízeních*. „Energie z biomasy X“, Brno, 2009. 123 s. Referát. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <http://www.oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_x/papers/enbio-x.pdf>. 113-118 str. ISBN 978-80-214-4027-2.
- [8] Energetik : Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb. [online]. 2002 [cit. 2011-05-17]. Dostupné z WWW: <<http://www.energetik.cz/hlavni.html>>.
- [9] OCHODEK, Tadeáš, KOLONIČNÝ, Jan, BRANC, Michal. *Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava : Repronis Ostrava, 2007. 228 s. Oborová práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava . ISBN 978-80-248-1426.
- [10] NOSKIEVIČ, Pavel; PILCH, Radek. *Spalování dřeva v malém ohništi*. Suchdol nad Odrou : ROMOTOP, 2008. 80 s. ISBN 978-80-248-1889-4.

[11] KAŠPAR, Matěj. *Zplyňování biomasy a odpadů s kogenerací pomocí mikroturbíny*. Brno, 2006. 39 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16687>.

[12] KADLEC, Karel. *Přístroje pro provozní chemickou analýzu : Provozní analyzátory plynů*. Automa : časopis pro automatizační techniku. 2001, 7, 10, s. 5-12. Dostupný také z WWW: <http://web.vscht.cz/kadleck/aktual/MT_INaRP/A10_2001.pdf>. ISSN 1210-9592.

[13] ČERMÁKOVÁ, Jiřina. *Vliv topného režimu na emise krbových kamen spalující dřevo* [online]. Praha, 2006. 40 s. Semestrální práce. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze. Dostupné z WWW: <http://tresen.vscht.cz/kap/data/studentska_cinnost/studentska_vedecka_konference_2006/26_vliv_topneho_rezimu_na_emise_krbovych_kamen_spalujicich_drevo_soubor.pdf>.

Internetové zdroje:

[14] Krbykk.cz : Krbová kamna na dřevo a uhlí [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <http://www.krbykk.cz/cz-kategorie_5033-0-krbova-kamna-na-drevo-a-uhli.html>.

[15] Thorma.cz : Kamna s nezávislým přívodem vzduchu pro spalování [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Krbová kamna. Dostupné z WWW: <<http://www.krbova-kamna-thorma.cz/kamna-s-nezavislym-privodem-vzduchu-pro-spalovani/>>.

[16] Krbyshop.cz : Krbová kamna a vložky [online]. 2011 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.krbyshop.cz/kamna/teplovzduzna-kamna/krbova-kamna-romotop-tala-12.htm>>.

[17] Xeoos.de : twinfire [online]. 2009 [cit. 2011-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.xeoos.de/oefen/x5/natur/ofen.html>>.

[18] Abb.com : Power and productivity for a better world [online]. 2011 [cit. 2011-05-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.abb.com/product/seitp330/4ffe9d9bb68e3defc12570750047cf0b.aspx>>.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Krbová kamna Viking [14]	5
Obrázek 2 Krbová kamna Aduro 7 [14]	6
Obrázek 3 Krbová kamna Gloria [14]	6
Obrázek 4 Krbová kamna Storvik [14].....	7
Obrázek 5 Krbová kamna Baby [14]	7
Obrázek 6 Krbová kamna Novergia [14].....	8
Obrázek 7 Krbová kamna F 375 CB [14]	8
Obrázek 8 Krbová kamna Tala 12 [16]	9
Obrázek 9 Krbová kamna Alvesta III [15]	9
Obrázek 10 Zobrazení definovaných termínů v kruhovém potrubí [1]	11
Obrázek 11 Izokinetické vzorkování [1]	12
Obrázek 12 Schéma ředícího tunelu [7]	13
Obrázek 13 Analyzátor s voltametrickými snímači [5]	14
Obrázek 14 Funkční schéma fluorescenčního analyzátoru [5]	15
Obrázek 15 Funkční schéma chemiluminiscenčního analyzátoru [5]	16
Obrázek 16 Funkční schéma GFC analyzátoru [5].....	16
Obrázek 17 Zapojení měřícího obvodu s FID [12].....	17
Obrázek 18 Krbová kamna Xeoos 5 kW [17].....	21
Obrázek 19 Schéma měření [13]	23
Obrázek 20 Množství znečišťujících látek z měření.....	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Certifikované parametry krbových kamen Viking [14].....	5
Tabulka 2 Certifikované parametry krbových kamen Aduro 7 [14]	6
Tabulka 3 Certifikované parametry krbových kamen Gloria [14]	6
Tabulka 4 Certifikované parametry krbových kamen Storvik [14].....	7
Tabulka 5 Certifikované parametry krbových kamen Baby [14]	7
Tabulka 6 Certifikované parametry krbových kamen Norvegia [14].....	8
Tabulka 7 Certifikované parametry krbových kamen F 375 CB [14]	8
Tabulka 8 Certifikované parametry krbových kamen Tala 12 [16].....	9
Tabulka 9 Certifikované parametry krbových kamen Alvesta III [15]	9
Tabulka 10 Certifikované parametry krbových kamen Xeoos 5 kW [17].....	21
Tabulka 11 Charakteristika analyzátorů EL 3020, EL 3040 a SM 96 [18]	22
Tabulka 12 Hodnoty z měření č.1 (spalovací režim).....	23
Tabulka 13 Hodnoty z měření č.2 (spalovací režim).....	24
Tabulka 14 Hodnoty z měření č.3 (spalovací režim).....	24
Tabulka 15 Hodnoty z měření č.4 (zplynovací režim)	24
Tabulka 16 Hodnoty z měření č.5 (zplynovací režim)	25
Tabulka 17 Hodnoty z měření č.6 (zplynovací režim)	25
Tabulka 18 Hodnoty z měření č.7 (zplynovací režim)	25
Tabulka 19 Vyhodnocení znečišťujících látek	28
Tabulka 20 Vyhodnocení účinnosti (nepřímou metodou)	30

SEZNAM PŘÍLOH

Obrázek 23 Zplyňovací režim v kamnech Xeoos 5 kW (foto z měření).....	39
---	----